Aus der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik I
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. E. Körber
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

Untersuchungen über Reparaturmaterialien für die Metallkeramik

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
THOMAS FRITZ KIEFER
aus Schwäbisch Hall

1985

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546522_0060

Aus der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik I
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. E. Körber
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

Untersuchungen über Reparaturmaterialien für die Metallkeramik

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
THOMAS FRITZ KIEFER
aus Schwäbisch Hall

1985

Dekan: Professor Dr. H. D. Waller
1. Berichterstatter: Professor Dr. E. Körber
2. Berichterstatter: Professor Dr. Dr. P. Riethe

Druck: Zeeb-Druck, Tübingen 7 (Hagelloch)

Meinen Eltern

in Dankbarkeit

gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1.	EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	1
2.	LITERATURÜBERSICHT	3
2.1.	Reparaturmöglichkeiten bei keramikverblendetem Zahnersatz	3
2.1.1.	Kunststoffreparaturmaterialien für die Metallkeramik	3
2.2.	Bisherige Untersuchungen über Reparaturmaterialien für die Metallkeramik	7
2.3.	Methoden für die Verbundfestigkeitsprüfung	8
2.3.1.	Bisherige Methoden zur Untersuchung der Haftfähigkeit von Reparaturmaterialien für die Metallkeramik	9
3.	EIGENE UNTERSUCHUNGEN	11
3.1.	Material und Methode	11
3.1.1.	Verwendete Materialien und ihre Anwendung	11
3.1.2.	Prüfung der Verbundfestigkeit der Metallkeramikreparatur	15
3.1.2.1.	Das Dynstat- Gerät	16
3.1.3.	Verwendete Prüfkörperarten	19
3.1.3.1.	Prüfkörper A	20
3.1.3.2.	Prüfkörper B	22
3.1.4.	Meßvorgang	24
3.1.5.	Anzahl der Prüfkörper, Dauer der Wasserlagerung und Prüfzeitpunkte	26
3.1.6.	Statistische Auswertung der Prüfergebnisse	26
3.2.	Meßergebnisse mit dem Prüfkörper A	27
3.3.	Meßergebnisse mit dem Prüfkörper B	31
3.4.	Auswertung und Diskussion der Versuchsergebnisse	35
3.5.	Untersuchung der Randdichtigkeit der Keramikreparatur	40
3.5.1.	Methode	40
3.5.1.1.	Wahl des Farbstoffs	41

		Seite
3.5.1.2.	Prüfkörperarten und Meßzeitpunkte	41
3.5.2.	Versuchsergebnisse	42
4.	SCHLUSSBETRACHTUNG ZU DEN UNTERSUCHUNGEN ÜBER REPARATURMATERIALIEN FÜR DIE METALLKERAMIK	43
5.	ZUSAMMENFASSUNG	44
6.	LITERATURVERZEICHNIS	46

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die Technik der Aufbrennkeramik in der zahnärztlichen Prothetik ist schon lange bekannt und findet unter dauernden Verbesserungen häufige Anwendung.

Nachdem 1848 von BROWN die erste Aufbrenntechnik beschrieben wurde, gelang es HOVESTAD 1936 ein für die Metallkeramik geeignetes Brückengerüst aus einer Platin-Iridium-Legierung zu gießen; 1952 fertigte WEINSTEIN ein solches aus einer Gold-Platin-Palladium-Legierung (1).

In Deutschland stehen seit 1963 bzw. 1965 die Systeme Vita-VMK-Degudent und Biodent-Herador-Gold-Keramik zur Verfügung (2).

Die Verwendung von Spargold- und Nichtedelmetallegierungen als Gerüstmaterial bringt noch Probleme mit sich. HENNING (3) berichtet nach einer Umfrage von einer größeren Mißerfolgsquote bei Verwendung von Nichtedelmetallegierungen für die Metallkeramik und begründet dies mit der rapide abnehmenden Haftung bei abnehmendem Edelmetallgehalt. SCHWICKERATH (4) gibt für den Verbund Metall-Keramik folgende Werte an:

Edelmetallegierungen	360-400 kp/cm^2
Spargoldlegierungen	350-360 kp/cm^2
Nichtedelmetallegierungen	330 kp/cm^2

Trotz Verbesserungen der Techniken, der Metalle und der Keramik treten mitunter Risse in der Verblendung oder Absprengungen von Keramikteilen auf. Die Mißerfolgsrate wird sehr unterschiedlich angegeben, der von KERSCHBAUM und VOSS (5) gefundene Wert von 2,2% wird als realistisch angesehen.

Für diese Mißerfolge gibt es verschiedene mögliche Gründe. MARXKORS (6) ist der Ansicht, daß Sprünge in der Keramik i.a. durch eine zu starke elastische Deformation des metallischen Unterbaus, also durch die unterschiedlichen Elastizitätsmoduli von Legierung und Keramik hervorgerufen werden. Daher gibt er genauso wie SCHWICKERATH (7) eine genaue Dimensionierung besonders der Zwischenglied-Metallkerne an.

Ebenso kommt SCHWICKERATH (4) zu dem Ergebnis, daß bei geringen Verformungen durch Paßungenauigkeiten der Krone auf dem Stumpf dünne Keramikschichten auf dünnem Metallgerüst nicht so leicht abplatzen wie bei dickeren Konstruktionen. Dagegen sind die optischen Eigenschaften bei einer dickeren Verblendschicht besser.
Solche Verformungen des Metallgerüsts durch das Aufbrennen konnte FREESMEYER an Einzelkronen (8) und Brücken (9) nachweisen. Sie sind auf die unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten des Metalls und der keramischen Masse, d.h. auf die Spannungsdruckverteilung zurückzuführen. Bei Temperaturen über 600°C ist die Ausdehnung der Keramik größer als die des Metalls. Da Keramik gegenüber Druckkräften eine hohe Druckfestigkeit, jedoch eine geringe Bruchzähigkeit zeigt, fordert MILLER (10) eine Metallunterstützung unter belasteten Stellen.
Auch können traumatisch bedingte Absprengungen gerade im Frontzahnbereich vorkommen (11).

Es ist also anzunehmen, daß Sprünge und Abplatzungen von Keramikverblendungen sehr häufig durch Biegebelastungen der metallkeramischen Arbeit auftreten. Besteht dann nicht die Notwendigkeit, den gesamten Ersatz zu erneuern, so ist es unumgänglich, eine Reparatur vorzunehmen.

Die vorliegende Untersuchung prüft einige der derzeit angebotenen Reparaturmaterialien für die Metallkeramik auf ihre Verwendbarkeit in der zahnärztlichen Praxis. Mit verschiedenen Prüfkörperarten sollen folgende Punkte untersucht werden:

1. Die Haftung von Metallkeramikreparaturen mit verschiedenen Materialien anhand der Verbundfestigkeit bei der Bruchbiegung.

2. Die Änderung dieser Haftung im Verlauf einer längeren Wasserlagerung der Prüfkörper.

3. Die Randdichtigkeit bzw. Abdichtung der Grenze zwischen Reparatur und Keramik.

2. LITERATURÜBERSICHT

2.1. Reparaturmöglichkeiten bei keramikverblendetem Zahnersatz

Die in der Literatur beschriebenen Reparaturmaßnahmen kann man in zwei Gruppen unterteilen.

a) Methoden mit zusätzlicher Laborarbeit:
MAREN (12) fertigte eine auf die nachpräparierte Metallgerüstunterkrone passende neue Metallkeramikkrone, die er auf diese aufzementierte.
BAKLAND (13) und BOITEL (11) beschreiben eine Methode zum Ersatz des abgeplatzten Keramikteils eines Frontzahnbrückenzwischengliedes. Sie legten parallele Bohrlöcher im Metallgerüst der Brücke an und verankerten darin mittels angegossener Stifte ein neuangefertigtes metallkeramisches Zwischenglied.

b) Methoden ohne zusätzliche Laborarbeit:
HOFFMANN (14) klebte Porzellanfacetten mit einem Cyanoacrylat- Schnellkleber ("Sekundenkleber") auf das Metallgerüst. Die sehr gute Haftfähigkeit dieses Klebers im Trockenen nimmt jedoch im feuchten Milieu bereits nach 14 Tagen auf etwa die Hälfte und danach noch weiter ab (15). Daher ist diese Methode nur als kurzzeitige, provisorische Maßnahme anzusehen.

Die Reparatur einer abgeplatzten Keramikverblendung mit einem Kunststoff ist, wenn die Materialeigenschaften den Anforderungen genügen, bei relativ geringem Aufwand für die zahnärztliche Praxis von großem Intersse.

2.1.1. Kunststoffreparaturmaterialien für die Metallkeramik

Für die Reparatur einer Keramikverblendung sind der Reparaturkunststoff und ein Haftvermittler für eine gesteigerte Haftung des Kunststoffs nötig.
Als Reparaturkunststoffe werden meist Composits verwendet und vorgeschlagen. Da diese heute als Füllungsmaterialien

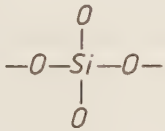
allgemein gebräuchlich sind, ist es sinnvoll, sie auch zur Reparatur der Keramikverblendungen zu benutzen.
Um eine ästhetisch befriedigende Wirkung an Glanz und Glätte der Keramik zu erreichen, sollte der Kunststoff hochglanzpolierbar sein. Diese Forderung wird einerseits von den mikrogefüllten Composits, andererseits von Füllungsmaterialien erreicht, bei denen sowohl die Kunststoffmatrix als auch die Füllstoffe aus organischen Vernetzern bestehen. Die letzteren sind daher nicht als Composits im eigentlichen Sinne zu bezeichnen.
Diese Materialien weisen jedoch gegenüber den konventionellen Composits unterschiedliche Eigenschaften auf. So ist die Bürstenabrasion bei den Hochglanzpolierbaren bis zu 10 mal größer als bei den konventionellen (16),wobei aber wohl die Untersuchungsanordnung eine Rolle spielt, da auch von vermindertem Abrieb berichtet wird (17). Das Elastizitätsmodul erreicht minimal nur 1/5 und die Biegefestigkeit nur die Hälfte der Werte der herkömmlichen Composits (18). Jedoch ist dadurch die Verformbarkeit bei der Bruchbiegung 2-3 mal größer (19).
Für die Reparatur von Keramikverblendungen sind diese Eigenschaften der hochglanzpolierbaren Materialien ausreichend, wie sie sich auch als Füllungsmaterial besonders für Frontzahnfüllungen und Schneidekantenaufbauten bewährt haben.

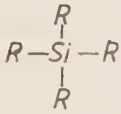
Außer diesen Eigenschaften ist jedoch speziell für einen Reparaturkunststoff die genügende Verbundfestigkeit der reparierten Verblendung durch eine gute Haftung des Kunststoffs nötig, um ein frühzeitiges erneutes Absprengen zu vermeiden und eine dauerhafte Reparatur zu erreichen. Zudem sollte eine gute Randdichtigkeit zur Keramikgrenzfläche bestehen, um eine Randverfärbung und ein unbefriedigendes ästhetisches Ergebnis zu verhindern.
Die Erfüllung dieser Bedingungen hängt wesentlich von einem geeigneten Haftvermittler ab.

Innerhalb eines Compositmaterials ist bereits eine Haftvermittlung nötig. Die organischen Bestandteile, Makromoleküle nach der Bowen-Formel, bedürfen der Verbindung mit den anorganischen Bestandteilen, meist Gläser, Quarze, Sili-

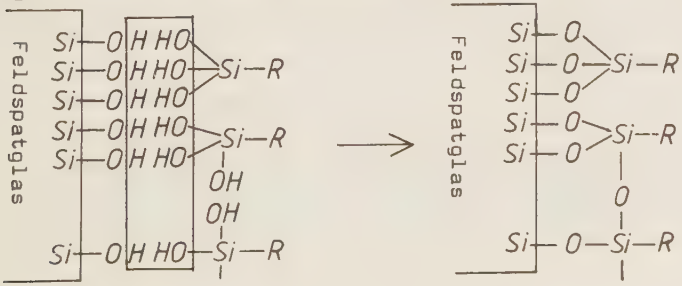
kate (20). Diese Haftvermittlung geschieht durch Silane. Unter einem Silan versteht man ein Molekül aus Silizium und vier weiteren daran gebundenen chemischen Gruppen.
Zur Keramikoberfläche kann also auch eine chemische Bindung durch Silane stattfinden, was jedoch mit den üblichen Silanisierungsverfahren im Munde nicht möglich war (21).

BREUSTEDT (22) beschreibt ein solches Verfahren. Seine Untersuchungen zeigen, daß durch Silanisierung von Keramikzähnen eine Erhöhung der Haftung vor allem an kaltpolymerisierenden Prothesenkunststoffen erzielt wird. Er erklärt auch die chemische Bindung zwischen Keramik, Silan und Kunststoff:
Die Struktur des Silans kann prinzipiell überall zwischen dem nur aus Silizium und Sauerstoff bestehenden Komplexion $(SiO_4)^{4-}$ und dem vollständig substituierten, nur aus Silizium und organischen Resten bestehenden Molekül SiR_4 (R: organischer Rest) liegen:





Zur Bindung an die Hydroxylgruppen des Feldspatglases in der keramischen Masse sind hydrolysierbare Substituenten wie Halogene, Alkoxi- oder Aminogruppen notwendig (23). Bei der Hydrolyse werden diese dann gegen eine Hydroxylgruppe ausgetauscht -das Silan also zum Silanol reduziert-, die mit einer weiteren Hydroxylgruppe der Keramik durch Kondensation (H_2O-Abspaltung) eine Sauerstoffbrücke ausbildet:

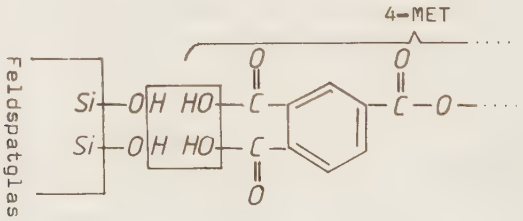


Die Hydrolyse wurde durch Zusatz von 0,2%iger Essigsäure erreicht. Die Bindung zum Kunststoff erfolgt über ungesättigte organische Reste, z.B. Vinyl- oder Methacrylreste, von denen im Silanmolekül mindestens einer vorkommen muß. Durch eine Kopolymerisation in der Grenzschicht zwischen Kunststoff und Haftvermittler kann es dann zur Bindung kommen.

Die hier beschriebene Silanisierungsmethode kann jedoch so nicht im Munde verwendet werden, da nach dem Auftragen der reaktionsfertigen hydrolysierten Silanlösung auf die Keramikoberfläche eine 10minütige Trocknung bei 120°C erfolgte.

Das Prinzip einer solchen Haftvermittlung ist aber auch für die Metallkeramikreparatur einzusetzen. Nach Herstellerangabe ist das in dieser Untersuchung verwendete SILANIT ein Haftvermittler auf Silanbasis (24). Er nützt diesen Bindungsmechanismus aus, ohne daß eine Hitzetrocknung erfolgen muß. Dasselbe läßt sich für das ebenfalls hier untersuchte FUSION vermuten, dessen Anwendungsvorschrift der von SILANIT bis auf unterschiedliche Zeitangaben gleicht (25).

Der oben beschriebene Bindungmechanismus zwischen dem hydrolysierten Silan und der Keramikoberfläche kann auch bei dem hier zusätzlich untersuchten haftfähigen Kunststoff SUPER-BOND genutzt werden (26).
Es ist wahrscheinlich, daß die Karbonsäuregruppe am Benzolkern des 4-Methacryloxyäthyltrimellit (4-MET) mit ihrer Hydroxylgruppe dieselbe Bindung mit der Keramik eingeht wie der hydrolysierte Rest des Silans:



SUPER-BOND ist vorwiegend zum Aufkleben von Metall oder

Kunststoff auf den Zahnschmelz gedacht, wobei eine Bindung zum Hydroxylapatit erreicht werden soll.

2.2. Bisherige Untersuchungen über Reparaturmaterialien für die Metallkeramik

MARX und HOUCKEN (15) bestimmten die Haftfähigkeit des Reparaturmaterials zu Keramik und Metall durch die Messung des zum Abscheren des Materials benötigten Drucks.
Dabei zeigte sich, daß die Haftfähigkeit nach einer Wasserlagerung der Prüfkörper (aqua dest., 37°C) über 14 Tage hinaus bei sämtlichen Materialien ständig abnahm. Die Haftung auf den Metalloberflächen erwies sich als besser als die auf den Keramikoberflächen. Der Einfluß des Haftvermittlers wurde dadurch deutlich, daß dasselbe Präparat (FUSION) bei jedem Kunststoff die Haftung an der Keramik erhöhte, dies jedoch in unterschiedlichem Maße. SILANIT stand noch nicht zur Verfügung. Darüber hinaus wurde die Härte der Kunststoffe sowie die Möglichkeit des Anklebens von Keramik an Metall mit Cyanoacrylat- Schnellklebern untersucht.

SCHRÖDER (27) prüfte die Verbundfestigkeit seiner Prüfkörper, die aus je einem mit einer ca. 1mm dicken Schicht Reparaturkunststoff verbundenen Keramik- und Metallwürfel bestanden, durch deren Biegefestigkeit.
Hierbei zeigte sich, daß der Bruch der Verbindung fast immer am Metall geschah, woraus sich schließen läßt, daß die Haftfähigkeit am Metall geringer ist als die an der Keramik.
Auch in dieser Untersuchung wurde der Einfluß des Haftvermittlers FUSION überprüft. Dabei stellte sich heraus, daß er bei einem Material (DEN-MAT, E.u.H. Renfert) die Haftfähigkeit erhöhte, sie jedoch bei einem weiteren (ENAMELITE 500, Lee Pharmaceuticals) herabsetzte.
Bei der klinischen Erprobung ergab sich neben ästhetisch unbefriedigenden Resultaten aufgrund des mitgelieferten Kunststoffs ein Abplatzen der Reparatur nach 4 Wochen bzw.

3 Monate ohne Verwendung von FUSION.
Es zeigte sich, daß die Haltbarkeit der Reparatur bei Vermeidung von Artikulations- und Okklusionskontakten größer ist.

NOTTER und BELSER (28) machten ebenfalls Abscherversuche mit Prüfkörpern aus Metall bzw. Keramik und Reparaturmaterial. Die Haftung des Kunststoffs am Metall erwies sich als wesentlich geringer als die an der Keramik.
Die Veränderungen der Haftfähigkeit nach 5 Monaten Wasserbad (aqua dest., 37°C) im Vergleich zu der nach eintägiger Wässerung waren sehr unterschiedlich; bei manchen Materialien zeigte sich eine Zunahme (FUSION + ISOPAST, CERAMAT), bei anderen eine Abnahme der Haftung (ISOPAST, SILANIT + ISOPAST, SUPER C). Da diese beiden Prüfzeitpunkte die einzigen waren, läßt sich über den genauen Verlauf der Haftung keine Aussage machen.

In einer Untersuchung von HUBER (21) wurde die Haftfähigkeit des Reparaturkunststoffs an aus verschiedenen Legierungen bestehenden metallkeramischen Prüfkörpern durch Abrißversuche bestimmt.
Dabei ergaben sich unterschiedliche Haftungen mit SILANIT und FUSION an den verschiedenen Metallen. Mit SILANIT wurden immer bessere Ergebnisse, ohne Haftvermittler sehr schlechte Ergebnisse erzielt. Keramikabsprengungen kamen nie vor.

2.3. Methoden für die Verbundfestigkeitsprüfung

Die Prüfung der Haftfestigkeit zwischen verschiedenen Materialien ist mit vielfältigen Methoden durchführbar, da die Belastung der Grenzfläche auf unterschiedliche Weise stattfinden kann. Möglich sind Belastung auf Zug, abscherende Kräfte und Biegung.
Die wichtigsten bisher beschriebenen Methoden werden hier kurz aufgezählt.

Zugbeanspruchung:

NALLY und BERTA (29) verbanden zwei Metallrundstäbe an den

Stirnflächen miteinander durch Aufbrennen von Keramikgrundmasse und übten auf den Verbund Zugkräfte aus.

Scherbeanspruchung:

Bekannt und häufig angewendet ist das Verfahren nach SHELL und NIELSEN (30). Dabei wird auf einen zylindrischen Metallstab ein Ring aus Keramik aufgebrannt, eingespannt und der Metallstab auf Zug belastet.

SCHMITZ und SCHULMEYER (31) beschreiben ein Verfahren, bei dem auf Metallwürfel Dentalkeramik aufgebrannt und durch zunehmenden seitlichen Stempeldruck abgeschert wird.

Biegebeanspruchung:

WAGNER (32) prüfte die Haftfähigkeit von VMK- Massen auf Degudent als Metallgerüstlegierung dadurch, daß er keramikverblendete Metallplättchen einseitig einspannte und den Verbund durch senkrecht nach unten gerichteten Zug an der Gegenseite durchbog.

MARXKORS (6) variierte diese Methode, indem er den Prüfkörper an beiden Enden unterstützte und in der Mitte belastete.

SILVER, KLEIN und HOWARD (33) beanspruchten Metallstäbe mit aufgebrannter Keramikmasse im Verbundbereich bis zum Bruch.

Außer diesen allgemeinen Prüfverfahren gibt es noch spezielle für Kronen und Brücken. Bei der Methode von VOSS und EICHNER (34) wird auf die Inzisalkante kunststoff- und keramikverblendeter Frontzahnkronen aus verschiedenen Richtungen Druck ausgeübt.
LENZ (35) führte Dauerbelastungsversuche an keramikverblendeten Konuskronen durch.

2.3.1. Bisherige Methoden zur Untersuchung der Haftfähigkeit von Reparaturmaterialien für die Metallkeramik

In den bisherigen Untersuchungen über diese Materialien wurden

vor allem Scherbeanspruchungen zur Ermittlung der Haftung benutzt. HOUCKEN (15) und in einer etwas abgewandelten Form auch NOTTER und BELSER (28) verwendeten die oben beschriebene Methode von SCHMITZ und SCHULMEYER, bestimmten also die Haftfähigkeit des Kunststoffs durch den zum Abscheren des Kunststoffanteils vom Metall bzw. der Keramik nötigen Druck. Dabei kam es jedoch bei HOUCKEN häufig zu Absprengungen bzw. zum Zerbrechen der Keramikschicht des Prüfkörpers, so daß die Haftfähigkeit nicht genau ermittelt wurde, jedoch in diesen Fällen die Haftung zwischen den verwendeten Materialien größer war als die Bruchfestigkeit der Keramik.

Eine Kombination aus Zug- und Scherbeanspruchung stellt die von HUBER (21) verwendete Methode dar. Auf ein Metallplättchen aus einer Aufbrennlegierung wird teilweise eine Schicht Keramik aufgebrannt, der andere Teil der Verblendung mittels Haftvermittler und Kunststoff ergänzt. Dann wird der Kunststoff vom übrigen Prüfkörper, der mit entsprechenden Halterungen versehen ist, abgerissen, d.h. die Grenzfläche Keramik- Kunststoff auf Zug, die Grenzfläche Kunststoff-Metall auf Abscherung belastet.

SCHRÖDER (27) verband Metall- und Keramikwürfel mit einem Reparaturmaterial und belastete die Verbindungsstelle auf Biegung. Die Prüfkörper bestanden immer zu je einem Teil aus Keramik und einem aus Metall.
Diese Methode wird vom Prinzip her auch in einem Teil dieser Arbeit verwendet.

3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

3.1. Material und Methode

3.1.1. Verwendete Materialien und ihre Anwendung

Für die Untersuchungen wurden folgende Materialien verwendet:

a) Keramikprüfkörper, keramische Masse und Gerüstmaterial für die Aufbrennkeramik

Die Keramikprüfkörper bestehen aus VMK 68 Dentinmasse. Die Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, stellte 80 Keramikkörper zur Verfügung, aus denen durch Zerteilen kleinere Prüfkörper (Prüfkörper A, siehe S.21) mit den hier nötigen Abmessungen erhalten werden konnten. Dadurch ist eine gleichmäßige Struktur und Dicke der Keramikkörper gegeben, die bei einer Herstellung im zahntechnischen Labor aufgrund von Verziehungen und Unregelmäßigkeiten nicht erreicht werden konnten.
Neben den Vorversuchen wurden so 100 Keramikprüfkörper für die endgültige Untersuchung hergestellt.

Als keramische Masse für die Aufbrennkeramik (für den Prüfkörper B, siehe S.23) wurde VMK 68 Grund- und Dentinmasse verwendet.
Das Gerüstmaterial als Grundlage für die Aufbrennkeramik (Prüfkörper B) ist DEGUDENT U (Degussa AG, Frankfurt). DEGUDENT U ist eine extraharte Aufbrennlegierung auf Gold- Platin- Palladium- Basis. Es gehört zu der Gruppe von Legierungen mit einem Goldgehalt von 70-80% und einem Platingehalt von 15-20% (36). Der Gesamtedelmetallgehalt (Massengehalt) beträgt 96,1% (37).
Die Firma Degussa stellte 25 DEGUDENT U- Plättchen mit den für die Untersuchung notwendigen Abmessungen leihweise zur Verfügung. Für die Versuchsreihen mit dem Prüfkörper B wurden 100 Proben benötigt, so daß diese Metallplättchen mehrfach verwendet wurden.

b) Reparaturmaterialien für die Metallkeramik

Folgende Materialien wurden für die Keramikreparatur verwendet:

- Die beiden Haftvermittler SILANIT und FUSION zusammen mit dem Kunststoff CONTACT-RESIN + ISOPAST
- Der haftfähige Kunststoff ORTHOMITE SUPER-BOND
- Der Reparaturkunststoff LABO-AKRYLAT

SILANIT (Vivadent, Schaan/Lichtenstein)+ dient als Haftvermittler zwischen Porzellangrund und Kunststoffen. Es ist ein Präparat auf Silan-Basis (24) und wird zur Reparatur von Porzellanarbeiten im Munde mit einem Kunststoff-Füllungsmaterial verwendet (38).
Als Beispiel für die Schichtung im Aufbau der im folgenden kurz beschriebenen Metallkeramikreparatur siehe Abb. 4b auf Seite 21.
Nach dem Anmischen der aus zwei Bestandteilen (Liquid A und B) bestehenden Lösung ist diese nach 15 Minuten Reifezeit für 24 Stunden gebrauchsfertig. Die Keramikoberfläche wird durch Beschleifen mit einem Diamantschleifer vorbereitet und die fertige SILANIT- Lösung mit einem Pinsel aufgetragen. Nach 3 Minuten werden die Überschüsse mit dem Luftbläser entfernt. Nun trägt man das Aufbaumaterial CONTACT-RESIN + ISOPAST zur Reparatur auf.
CONTACT-RESIN (Vivadent, Schaan/Lichtenstein)+ ist ein dünnflüssiger Kunststoff auf der Basis des Füllungskunststoffs ISOPAST (39) und bewirkt eine bessere Benetzung und Verbindung von ISOPAST zu der mit den eigentlichen Haftvermittlern SILANIT und FUSION vorbereiteten Keramikoberfläche (38).
In Näpfchen mit dem vorbereiteten Aktivator werden 1-2 Tropfen der CONTACT-RESIN- Flüssigkeit gegeben und mit einem Pinsel 20 Sekunden lang vermischt. Danach wird

---

+Vertrieb durch: Keramoplast GmbH, Ellwangen/Jagst-Neunheim

diese auf die vorbehandelte Keramikoberfläche dünn aufgetragen, die Überschüsse mit dem Luftbläser entfernt und ISOPAST aufgebracht (40).
ISOPAST (Vivadent, Schaan/Lichtenstein)+ ist ein hochglanzpolierbares Füllungsmaterial, bei dem sowohl die Kunststoffbasis als auch der Füllstoff aus organischen Vernetzern bestehen (41). Es ist daher kein Composit im eigentlichen Sinne.
Die Paste und der Katalysator liegen in je einer Spritze vor. Von beiden Komponenten werden gleichlange Stränge auf den Anmischblock aufgetragen und mit einem Spatel vermischt, wobei auch Metallinstrumente verwendet werden können.
Die Verarbeitungszeit beträgt bei 23°C ca. 2 Minuten, die Abbindezeit ca.3 Minuten.

Sobald der Kunststoff ausgehärtet ist, können die Überschüsse abgeschliffen und die Oberfläche poliert werden. Mit SILANIT soll die Haftung nach 24 Stunden maximal sein.

Die Firma Keramoplast stellte eine Combipackung SILANIT und CONTACT-RESIN für diese Untersuchung zur Verfügung.

FUSION (E.&H. Renfert, Singen) dient wie SILANIT als Haftvermittler zwischen Keramik und Kunststoff. Es ist ein chemisches Bindemittel und präpariert Porzellan, Keramik, Edelmetall und Stahl in der Weise, daß sie mit kalthärtendem Kunststoff homogen zu verbinden sind (25).
Nach dem Anmischen der beiden Flüssigkeitskomponenten A und B und einer Reaktionszeit von 3 Stunden (minimale Reaktionszeit 30 Minuten) wird die zuvor aufgerauhte Keramik- oder Metalloberfläche mit der Mischung benetzt, nach weiteren 10 Minuten vollständig trocken geblasen und der Reparaturkunststoff (hier CONTACT-RESIN + ISOPAST) aufgetragen.
Nach dem Aushärten erfolgen Ausarbeitung und Politur.

ORTHOMITE SUPER-BOND (Sun-Medical, Japan) ist ein kalt-

härtendes Adhäsiv (Kunststoff), das an Zahnschmelz, Dentin und einigen Dentallegierungen haftet (26). Es wird vorzugsweise für die Befestigung von Brackets für festsitzende kieferorthopädische Geräte und vor allem für die neuentwickelten "Adhesion Bridges" (Maryland-Brücke) verwendet. Da das Prinzip der chemischen Bindung zwischen diesem Kunststoff und Hydroxylapatit auch eine solche Bindung zur Keramik ermöglicht (siehe S. 6), ist das Material für diese Untersuchung interessant. Jedoch ist durch die Verarbeitungsmöglichkeit nur ein direktes Verkleben von Keramikkörpern mit einem sehr schmalen Reparaturspalt durchzuführen, was bei der Reparatur von abgeplatzten Verblendungsteilen, die nicht verloren gingen, Verwendung finden könnte.
Durch Eintauchen eines Pinsels in die Flüssigkeitskomponente (Monomer) und anschließend in das Pulver wird die Kunststoffpaste hergestellt. Diese verteilt man dann gleichmäßig auf der vorbereiteten und mit Monomer benetzten Oberfläche und drückt das aufzuklebende Teil an.

LABO-AKRYLAT (Ellmann Produkte, Frankfurt) kann u.a. für die Reparatur und Wiederherstellung von Kunststoff- und Keramikverblendungen verwendet werden (42).
Für die Keramikreparatur wird die Oberfläche leicht angerauht und gereinigt. Mit direkt aufgetragener FAST-Flüssigkeit und außerhalb angemischtem Kunststoff aus FAST und einem mitgelieferten Pulver entsprechender Farbe wird die Verblendung wieder aufgebaut. Zur Abbindeverzögerung kann man einen Retarder zugeben.
Bei dem als Haftvermittler entscheidenden FAST handelt es sich nach den in der Gebrauchsanweisung beschriebenen Eigenschaften wie auch nach Konsistenz, Geruch und Klebefähigkeit wohl um einen Cyanoacrylat- Schnellkleber oder um eine diesem verwandte Substanz.

c) Weitere Hilfsmittel für die Metallkeramikreparatur

Zum Abdecken der freiliegenden Metalloberflächen wird

vor dem Aufbringen des Reparaturmaterials der bei SILANIT mitgelieferte Opaquer verwendet.
Es handelt sich dabei um einen Kunststoff, der aus Monomerflüssigkeit und Pulver angemischt und mit einem Pinsel gleichmäßig aufgetragen wird.

3.1.2. Prüfung der Verbundfestigkeit der Metallkeramikreparatur

Die verschiedenen Möglichkeiten der Verbundfestigkeitsprüfung sind bereits in der Literaturübersicht (S.8 ff) beschrieben.
Da Risse und Absprengungen in Keramikverblendungen sehr häufig durch Biegebelastungen verursacht werden, erscheint es sinnvoll, eine solche Belastung für die Überprüfung der Haltbarkeit einer Reparatur einzusetzen. Dafür werden hier Biegeversuche mit zwei verschiedenen, später noch näher beschriebenen Prüfkörperarten durchgeführt.
Besonders beachtet soll dabei die Haftung an der Keramik werden, da die meisten bisherigen Untersuchungen zeigen, daß diese oft wesentlich größer als die am Metall und somit für die Haltbarkeit der Reparatur entscheidend ist.

Ein außer der Prüfmethode wichtiger Gesichtspunkt bei der Untersuchung ist das Verhalten der Materialien im feuchten Milieu, d.h. die Veränderung der Haftfähigkeit unter der Einwirkung des Mundmilieus.
Zu dessen Simulierung werden die Prüfkörper in aqua dest. bei 37°C gelagert.
Eine verwertbare Aussage ist dann zu machen, wenn die Tendenz der Veränderung der Haftung über einen längeren Zeitraum der Wasserlagerung erkennbar ist. Daher wird hier die Verbundfestigkeitsprüfung jeweils nach mehreren unterschiedlich langen Wässerungen der Prüfkörper durchgeführt.

Als Prüfmaschine für die Bestimmung der Biegefestigkeit eignet sich das im folgenden beschriebene Dynstat- Gerät.

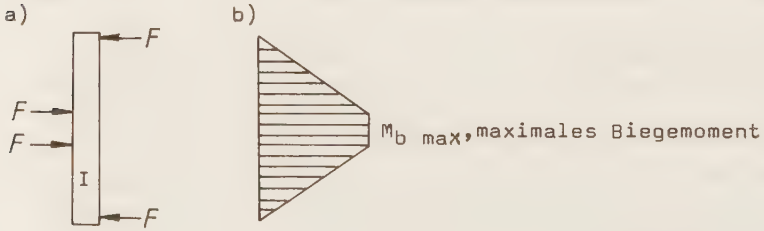
3.1.2.1. Das Dynstat- Gerät

Dieses Gerät zur Bestimmung von Biegefestigkeit und Schlagzähigkeit an kleinen Proben unterliegt der Normvorschrift nach DIN 51 230 (43).

Der Schlagbiegeversuch wird in dieser Untersuchung nicht durchgeführt.

Die folgenden Abbildungen sind nach denen der DIN- Beschreibung gezeichnet.

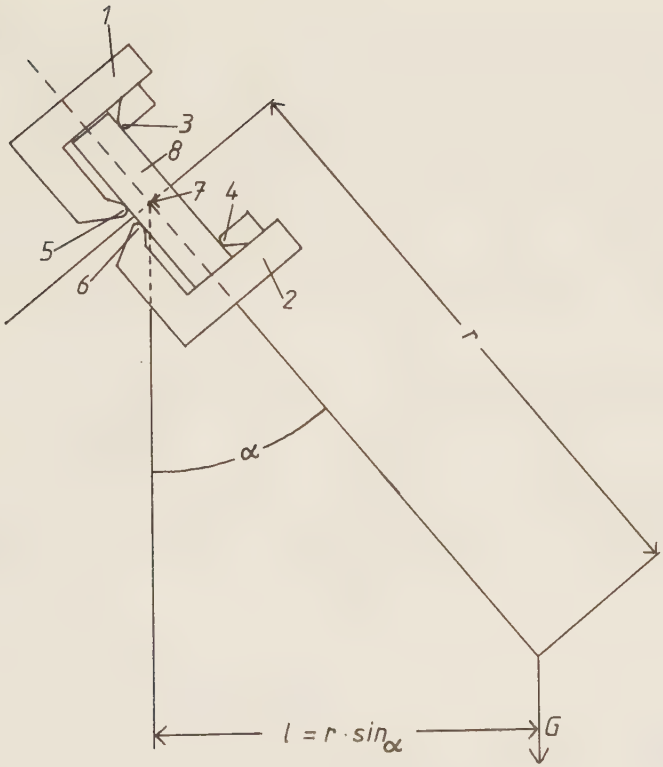
Das Prinzip für den Biegeversuch ist, in der Mitte der Probe eine Strecke mit konstantem Biegemoment entstehen zu lassen, was durch zwei gleichgroße Kräftepaare, von denen eines an den Enden des Prüfkörpers, das andere in einem Abstand von jeweils 1mm von der Mitte auf der Gegenseite angreift, erreicht wird. Diese Anordnung und die zugehörige Verteilung des Biegemoments über den Prüfkörper sind in Abbildung 1 dargestellt.



I: Prüfkörper; Aufsicht auf eine Längsseite (Seitenfläche des Prüfkörpers)

Abb. 1 Belastungsanordnung (a) und daraus resultierendes Biegemoment (b) für den Biegeversuch

Das Biegemoment $M_{b\ max}$ wird, wie in Abbildung 2 gezeigt, dadurch erzeugt, daß die obere Auflagereinrichtung um die von der Probendicke unabhängige, d.h. immer konstante Drehachse O gedreht wird.



1: obere Auflagereinrichtung
2: untere Auflagereinrichtung
3: Biegeauflager 1
4: Biegeauflager 2
5: Biegeschneide 1
6: Biegeschneide 2
7: Drehachse O
8: Probe

Die Biegeschneiden und Biegeauflager halten die Probe linienförmig über die gesamte Breite (10mm). Die Biegeauflager sind zum Einstellen auf die verschiedenen Probendicken verschiebbar.

Abb. 2 Um den Winkel α gedrehte Prüfanordnung für den Biegeversuch im Dynstat- Gerät

Die untere Auflagereinrichtung ist fest mit dem ebenfalls um die Achse O drehbaren Pendel verbunden, dessen Länge r konstant ist; am Ende des Pendels können Prüfgewichte angebracht werden, so daß größte Biegemomente von 5 kp•cm, 10 kp•cm und 40 kp•cm zu erzielen sind.

Die folgende Abbildung verdeutlicht den Ablauf des Biegeversuchs.

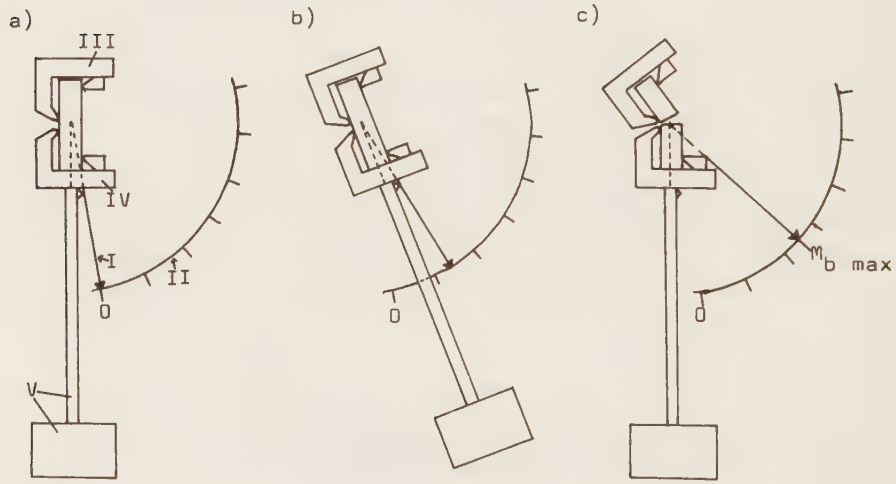


Abb. 3 Biegeversuch mit dem Dynstat- Gerät

a) Versuchsbeginn. Der Schleppzeiger (I) ist auf den Wert 0 kp•cm auf der Skala (II) justiert. Die obere Auflagereinrichtung (III) ist noch nicht gedreht. Das mit der unteren Auflagereinrichtung (IV) verbundene Pendel mit dem angehängten Prüfgewicht (V) ist daher nicht ausgelenkt.

b) Über die Handkurbel wird die obere Auflagereinrichtung gedreht. Da der Prüfkörper noch nicht gebrochen ist, wird das Pendel mitausgelenkt. Mit steigendem Drehwinkel vergrößert sich das auf den Prüfkörper wirkende Biegemoment.

c) Bruch der Probe. Die obere Auflagereinrichtung bleibt in der Stellung, in die sie bis zum Bruch gedreht wurde. Das Pendel mit der unteren Auflagereinrichtung schwingt zurück. Der Schleppzeiger bleibt in der Stellung beim Bruch stehen und zeigt das dabei aufgetretene Biegemoment an.

Durch Drehen der oberen Auflagereinrichtung über eine Handkurbel wird das Pendel bis zum Bruch des Prüfkörpers mitausgelenkt und erzeugt das vom Auslenkungswinkel abhängige Biegemoment $M_{b\ max} = G \cdot r \cdot \sin\alpha$, das auf einer Strecke von 2mm $\pm$ 0,1mm auf den Prüfkörper wirkt.
Bei der Erhöhung des Biegemoments durch Vergrößerung von α wird ein Schleppzeiger mitgenommen, der auf einer radiär angebrachten Skala dieses anzeigt und beim Bruch der Probe, bei dem das Pendel zurückschwingt, in der das maximale Biegemoment anzeigenden Stellung stehenbleibt.

Die Auflösung der Meßwerte auf den einzelnen Skalen ist bei kleinen Gewichten G größer, weshalb immer das kleinstmögliche G gewählt werden sollte.

Nach DIN sind die Abmessungen der im Dynstat- Gerät verwendeten Proben genau vorgeschrieben; die "Dynstat- Probe" hat eine Länge von 15mm, eine Breite von 10mm und eine Dicke von 1,5 bis 4,5mm.

3.1.3. Verwendete Prüfkörperarten

Zur Ermittlung der Haftfestigkeit der hier verwendeten Reparaturmaterialien (siehe S.12 ff) wurden für jedes zwei verschiedene Prüfkörperarten (A und B) hergestellt und im Dynstat- Gerät bis zum Bruch belastet.
Das dabei gemessene maximale Biegemoment kann als Maß für die Haftung angesehen werden.

Die Auswahl der Reparaturmaterialien bzw. Haftvermittler geschah nach den Ergebnissen der bisherigen Untersuchungen über diese Materialien (S.7 f), die deutliche Unterschiede in den Haftfestigkeiten der verschiedenen Produkte zeigten. Dabei hoben sich die beiden Haftvermittler FUSION und SILANIT deutlich von den übrigen ab. Als Reparaturkunststoff bei Anwendung dieser Haftvermittler diente ISOPAST mit dem zugehörigen Liner CONTACT-RESIN (dünnflüssiger Kunststoff auf ISOPAST-Basis).
Das Material CERAMAT PLUS (E.&H. Renfert, Singen), dessen

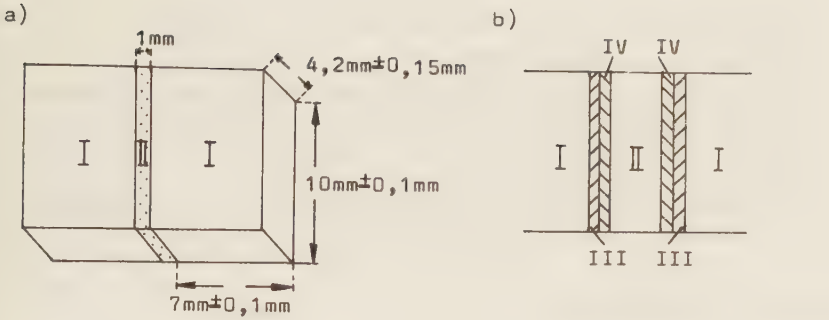
Vorgänger CERAMAT noch gute Ergebnisse zeigte, war zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht lieferbar.
Der nicht speziell für die Keramikreparatur vorgesehene haftfähige Kunststoff SUPER-BOND erwies sich bei Vorversuchen ohne Wasserlagerung als ein festes Verbindungsmaterial und wurde deshalb in diese Untersuchung miteinbezogen.
Da das Material LABO-AKRYLAT erst nach Abschluß der Prüfreihen zur Verfügung stand, wurde es nur mit wenigen Proben untersucht. Die Ergebnisse sind jedoch signifikant und werden mit den übrigen genannt und diskutiert.

3.1.3.1. Prüfkörper A

Der Prüfkörper A besteht aus zwei gleichgroßen Keramikkörpern, die durch das Reparaturmaterial verbunden sind.
Freundlicherweise stellte die Vita Zahnfabrik 80 Keramikprüfkörper zur Verfügung. Da diese für die Untersuchung zu groß waren, wurden durch Zerteilen mit einer Nylon- Separierscheibe und Beschleifen mit einer starren Schleifscheibe die für die Dynstat- Probe nötigen Abmessungen erzielt.

Die Abbildung 4 zeigt den Aufbau des Prüfkörpers A. Zwei Keramikkörper, von denen jeder 7mm ($\pm$ 0,1mm) lang, 10mm ($\pm$ 0,1mm) breit und 4,2mm ($\pm$ 0,15mm) hoch ist, sind durch eine Kunststoffschicht verbunden. Die Dicke dieser Schicht beträgt 1mm, um sicherzustellen, daß beim Biegeversuch im Dynstat- Gerät die Grenzflächen Kunststoff- Keramik in der 2mm breiten Zone des maximalen Biegemoments liegen.

Vor dem Auftragen von Haftvermittler und Kunststoff werden die jeweiligen Reparaturflächen der Keramikkörper mit einem groben Diamantschleifer (Körnung 80 μm) aufgerauht bzw. mechanisch gereinigt. Dadurch werden die besten Retentionswerte erzielt (21). Anschließend wird der Schleifstaub mit 3%iger Wasserstoffperoxidlösung entfernt.



I : Keramik
II: Kunststoff (ISOPAST)
III: Haftvermittler, SILANIT oder FUSION
IV: CONTACT-RESIN

Abb. 4 a) Prüfkörper A
b) Schichten bei der Herstellung dieses Prüfkörpers im Verbundbereich; die Schichtdicken sind zur deutlichen Darstellung stark verbreitert, Haftvermittler und CONTACT-RESIN sind makroskopisch nicht sichtbar

Die Prüfreihe umfaßt vier verschiedene Probenarten (die Verarbeitungsvorschriften für die einzelnen Materialien sind in Kapitel 3.1.1.b ,S.12 ff, beschrieben). Die getrennten Keramikkörper wurden auf folgende Weise miteinander verbunden:

I. Reparatur mit Orthomite SUPER-BOND
Die beiden zu verbindenden Keramikkörper müssen hier eine Länge von 7,5mm haben, da sie mit SUPER-BOND nur direkt verklebt werden können. Die Kunststoffschicht ist sehr dünn.

II. Reparatur mit SILANIT, CONTACT-RESIN und ISOPAST
Nacheinander werden der Haftvermittler (SILANIT), der Liner (CONTACT-RESIN) und der Kunststoff (ISOPAST) auf die vorbereiteten Keramikflächen aufgetragen und die beiden Keramikkörper damit verbunden (siehe Abb. 4b). Nach dem Aushärten des Kunststoffs werden die Überschüsse entfernt und die Kunststoffflächen gleichmäßig mit NIMETIC- Polierpaste für Composits (Fa. Espe) und Sili-

konpolierkörpern poliert.

III. Reparatur mit FUSION, CONTACT-RESIN und ISOPAST
Die Herstellung dieser Proben erfolgt wie oben beschrieben mit FUSION anstelle von SILANIT als Haftvermittler.

IV. Reparatur mit CONTACT-RESIN und ISOPAST
Bei dieser Prüfreihe wird kein Haftvermittler verwendet.

3.1.3.2. Prüfkörper B

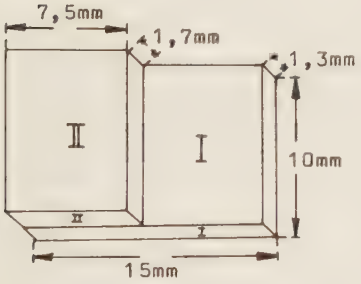
Der Prüfkörper B besteht aus einem Metallplättchen einer Aufbrennlegierung, das zur Hälfte keramikverblendet ist. Die andere Hälfte der Verblendung wird mit dem Reparaturmaterial hergestellt (siehe Abb. 5 und 6).

Der Grundgedanke bei dieser Prüfkörperart ist der, die realen Verhältnisse im Munde, d.h. die Reparatur eines metallkeramischen Zahnersatzes zu simulieren.
Der Unterschied zur Untersuchung mit dem Prüfkörper A besteht vor allem im Vorhandensein eines Metallgerüsts. Durch dieses wird die Spannungsverteilung in der Verblendung verändert, so daß sich möglicherweise die Unterschiede in den Haftfestigkeiten der einzelnen Reparaturmaterialien verringern.

Als Aufbrennlegierung wurde DEGUDENT U (Degussa) gewählt. Da die vorgeschriebenen Maße für das Dynstat- Gerät eingehalten werden müssen, sind Länge und Breite der Metallplättchen vorgegeben. Die Fa. Degussa konnte diese Plättchen mit einer Länge von 15mm, einer Breite von 10mm und einer Höhe von 1,3mm herstellen.
Bei der keramischen Masse für die Aufbrennkeramik handelt es sich um VMK 68 (Vita).

Vor dem Aufbrennen wird die Metallfläche mit einem Edelkorundschleifkörper abgezogen und gleichmäßig mit Edelkorund (Durchmesser 50 µm) bei einem Druck von 2,5 bar abgestrahlt. Durch Dampfstrahlen bei 160°C und 7 bar wird die Oberfläche gereinigt.

Der nun folgende Aufbrennvorgang unterteilt sich in den Oxidbrand, den Grundbrand und den Hauptbrand.
Danach wird die Keramikschicht mit einem in eine Turbine eingespannten Diamantschleifer bis zu einer gleichmäßigen Gesamthöhe des Prüfkörpers von 3mm reduziert. Die Grenzfläche zum Kunststoff an der Mitte des Metallplättchens wird senkrecht zu diesem geschliffen (siehe Abb. 5).
Abschließend erfolgt der Glanzbrand.



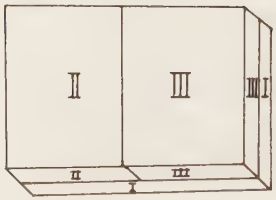
Gesamthöhe 3,0mm (± 0,05mm)

I : DEGUDENT U-Metallplättchen
II: aufgebrannte Keramik

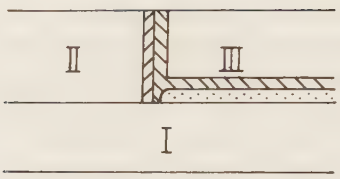
Abb. 5 Prüfkörper B nach dem Aufbrennen der Keramik

Vor dem Aufbringen des Reparaturmaterials muß die Metalloberfläche mit einem Opaquer abgedeckt werden. Hier wurde der Opaquer für SILANIT verwendet.
Die Keramikreparaturfläche wird mit einem groben Diamantschleifer aufgerauht und vom Schleifstaub gereinigt. Danach folgt das Auftragen des Haftvermittlers auf die Keramikfläche, sodann das Aufbringen von Liner und Kunststoff an Keramik und Opaquer (siehe Abb. 6).
Nach dem Aushärten werden die Überschüsse abgetragen, die Schichtdicke des Kunststoffs gleichmäßig reduziert und die Oberfläche poliert.

a)



b)



I: DEGUDENT U (Metallplättchen)
II: aufgebrannte Keramik
III: ISOPAST (Reparaturkunststoff)

Haftvermittler, SILANIT oder FUSION
CONTACT-RESIN
Opaquer

Abb. 6 Fertiggestellter Prüfkörper B

b) Schnitt durch den Verbund. Die Schichten im Aufbau des Prüfkörpers sind nicht maßstabgerecht und teilweise stark vergrößert dargestellt. Haftvermittler und CONTACT-RESIN sind makroskopisch nicht sichtbar. Der Opaquer wurde kurz vor der Keramik entfernt, um bei allen Prüfkörpern die gesamte Fläche zur Haftung heranzuziehen.

Es kamen vier verschiedene Probenarten zur Untersuchung:

I: vollständig keramikverblendetes DEGUDENT U- Metallplättchen

II: Reparatur mit SILANIT, CONTACT-RESIN + ISOPAST

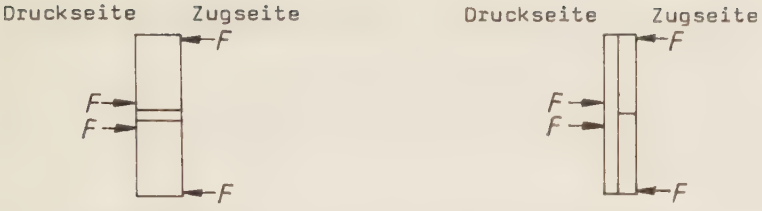
III: Reparatur mit FUSION, CONTACT-RESIN + ISOPAST

IV: Reparatur ohne Haftvermittler, nur mit CONTACT-RESIN + ISOPAST

Das Material SUPER-BOND ist nur zum Anmischen kleiner Mengen und zum direkten Verkleben von Keramikteilen zu verwenden. Deshalb kann es zur Herstellung des Prüfkörpers B nicht verwendet werden.

3.1.4. Meßvorgang

Die Prüfkörper wurden so in das Dynstat- Gerät eingesetzt, daß sich folgende Belastungsanordnung ergibt:



Prüfkörper A Prüfkörper B

Abb. 7 Belastung der beiden Prüfkörper A und B im Dynstat-Gerät; Aufsicht auf die Längsseiten (Seitenflächen) der Prüfkörper

Durch das Drehen der Prüfanordnung wird das auf den Prüfkörper wirkende Biegemoment kontinuierlich erhöht (siehe Kap. 3.1.2.1.). Die folgende Abbildung zeigt die Stellung der Prüfanordnung nach dem Bruch der Proben. Bei dem Prüfkörper B bricht nur die Verblendung.

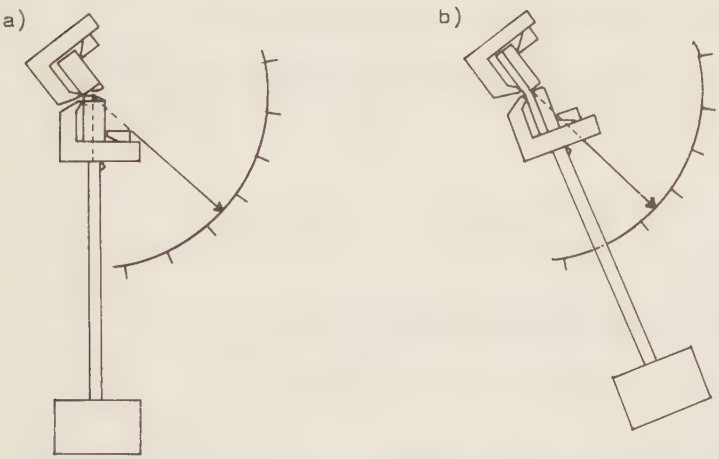


Abb. 8 Prüfanordnung des Dynstat- Geräts nach dem Bruch der Proben
a) Prüfkörper A b) Prüfkörper B

Der in dieser Stellung vom Schleppzeiger angezeigte Wert des Biegemoments ist der Meßwert für diesen Prüfkörper.

3.1.5. Anzahl der Prüfkörper, Dauer der Wasserlagerung und Prüfzeitpunkte

Für jede Probenart und jeden Prüfzeitpunkt wurden 5 Prüfkörper hergestellt, insgesamt also 100 Prüfkörper A und 100 Prüfkörper B.

Die Lagerung der Proben erfolgte in aqua dest bei 37°C.
Prüfzeitpunkte:

1.) nach 1 Tag Wasserlagerung

2.) nach 7 Tagen Wasserlagerung

3.) nach 14 Tagen Wasserlagerung

4.) nach 28 Tagen Wasserlagerung

5.) nach 120 Tagen (20 Wochen) Wasserlagerung

3.1.6. Statistische Auswertung der Prüfergebnisse

Zur Berechnung des Mittelwerts, der Standardabweichung und des Variationskoeffizienten werden folgende Variablen und Formeln verwendet:

n : Anzahl der Prüfkörper

m_i: Meßwert der Verbundfestigkeit für den Prüfkörper i, $i = 1,\dots,n$

$\bar{m}$: Mittelwert der Meßwerte, $\bar{m} = \frac{m_1+\dots+m_n}{n}$

a_i: Abweichung des Meßwerts m_i vom Mittelwert $\bar{m}$, $a_i = m_i - \bar{m}$

s : Standardabweichung oder Streuung, $s = \sqrt{\frac{a_1^2+\dots+a_n^2}{n-1}}$

VK: Variationskoeffizient, $VK = \frac{s \cdot 100}{\bar{m}}$

Die graphische Darstellung der Ergebnisse geschieht in einem Säulendiagramm (Diagramm 1 und 3) und einer Verlaufskurve (Diagramm 2 und 4), bei der der Zeitraum zwischen dem 33. und

127. Tag durch eine gepunktete Linie verkürzt ist. Die Steigungen der Kurven vor und nach diesem Bereich sind diejenigen, die bei nicht unterbrochenem Verlauf entstanden wären.
Im Säulendiagramm sind zusätzlich die jeweiligen Standardabweichungen dargestellt.

3.2. Meßergebnisse mit dem Prüfkörper A

Einheit der Meßergebnisse: [kp•cm]

I. Reparatur mit SUPER-BOND

Dauer der Wasserlagerung	n	$\bar{m}$	m_{max}	m_{min}	s	VK (%)
1 Tag	5	5,98	6,8	5,3	0,71	11,9
1 Woche	5	0,54	0,7	0,4	0,11	21,1
2 Wochen	5	0,60	1,0	0,3	0,26	42,5
4 Wochen	5	0,56	0,9	0,3	0,28	49,8
20 Wochen	5	0,56	0,8	0,2	0,25	44,8

II. Reparatur mit SILANIT, CONTACT-RESIN + ISOPAST

Dauer der Wasserlagerung	n	$\bar{m}$	m_{max}	m_{min}	s	VK (%)
1 Tag	5	5,48	7,8	4,0	1,47	26,7
1 Woche	5	6,98	8,2	5,7	1,11	15,9
2 Wochen	5	6,86	8,1	5,5	1,07	15,6
4 Wochen	5	6,80	7,5	6,2	0,56	8,3
20 Wochen	5	6,72	7,3	5,3	0,84	12,5

III. Reparatur mit FUSION, CONTACT-RESIN + ISOPAST

Dauer der Wasserlagerung	n	$\bar{m}$	m_{max}	m_{min}	s	VK (%)
1 Tag	5	3,66	4,9	3,0	0,80	21,9
1 Woche	5	5,40	6,1	4,4	0,71	13,1
2 Wochen	5	4,32	5,5	4,0	0,79	18,2
4 Wochen	5	4,12	4,8	2,9	0,74	17,9
20 Wochen	5	3,34	3,9	2,4	0,59	17,5

IV. Reparatur mit CONTACT-RESIN + ISOPAST

Dauer der Wasserlagerung	n	$\bar{m}$	m_{max}	m_{min}	s	VK (%)
1 Tag	5	1,56	1,7	1,4	0,14	7,3
1 Woche	5	1,44	1,6	1,2	0,15	10,5
2 Wochen	5	1,16	1,2	1,1	0,06	4,7
4 Wochen	5	0,86	1,2	0,6	0,24	28,0
20 Wochen	5	-	-	-	-	-

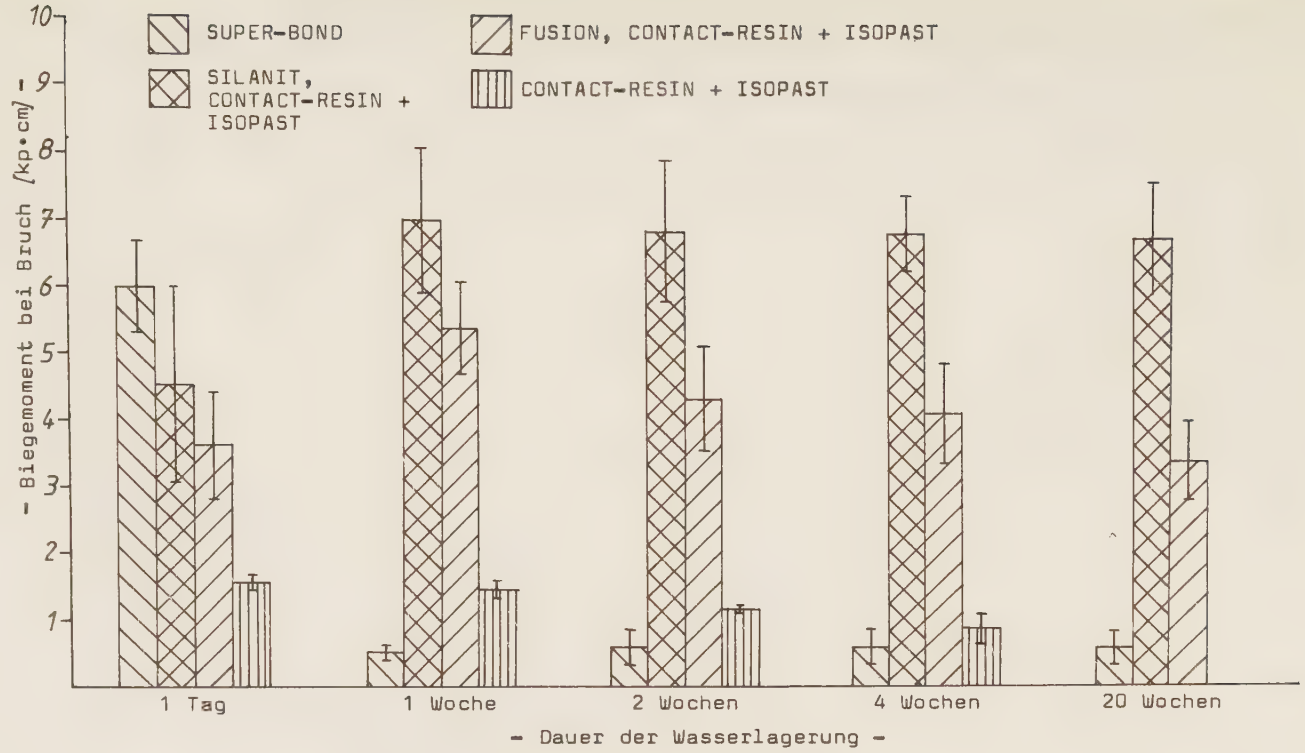


Diagramm 1: Biegemoment bei Bruch des Prüfkörpers A (S.20 ff).
Die günstigsten Ergebnisse sind bei dem Haftvermittler SILANIT zusammen mit dem Kunststoff CONTACT-RESIN + ISOPAST zu finden.

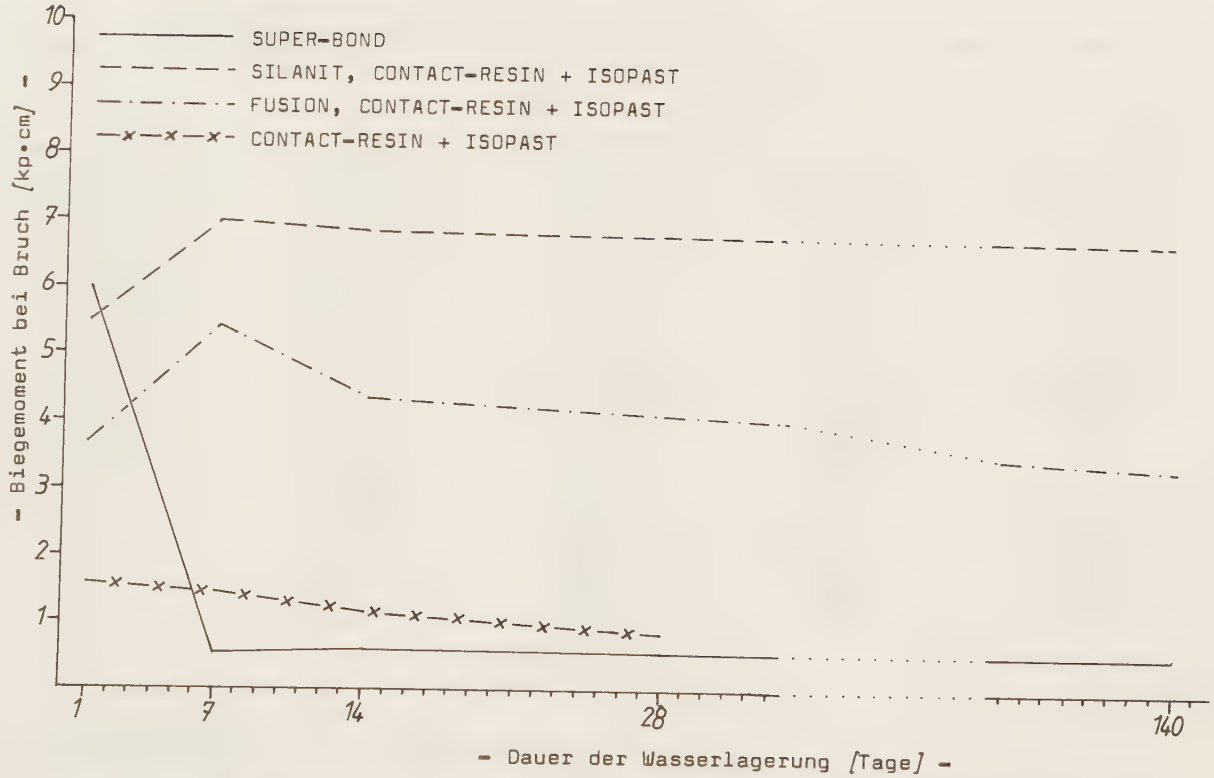


Diagramm 2: Verlaufskurve zu Diagramm 1; Biegemoment bei Bruch des Prüfkörpers A. Mit SILANIT nimmt die Haftung des Kunststoffs (CONTACT-RESIN + ISOPAST) an der Keramik auch nach längerer Wasserlagerung nur wenig ab.

3.3. Meßergebnisse mit dem Prüfkörper 8

Einheit der Meßergebnisse: *[kp•cm]*

I. Vollständige Keramikverblendung

Dauer der Wasserlagerung	n	$\bar{m}$	m_{max}	m_{min}	s	VK (%)
1 Tag	5	11,94	13,3	11,0	1,12	9,4
1 Woche	5	12,06	13,5	10,3	1,38	11,2
2 Wochen	5	11,90	13,9	10,0	1,54	13,0
4 Wochen	5	12,06	13,0	8,9	1,88	15,6
20 Wochen	5	11,72	13,0	9,8	1,22	10,4

II. Reparatur mit SILANIT, CONTACT-RESIN + ISOPAST

Dauer der Wasserlagerung	n	$\bar{m}$	m_{max}	m_{min}	s	VK (%)
1 Tag	5	4,36	5,0	3,7	0,46	10,6
1 Woche	5	7,30	8,1	6,5	0,62	8,4
2 Wochen	5	7,12	8,1	6,0	0,76	10,7
4 Wochen	5	6,92	7,4	6,4	0,46	6,6
20 Wochen	5	6,26	6,7	5,7	0,44	7,0

III. Reparatur mit FUSION, CONTACT-RESIN + ISOPAST

Dauer der Wasserlagerung	n	$\bar{m}$	m_{max}	m_{min}	s	VK (%)
1 Tag	5	3,76	4,4	3,2	0,43	11,5
1 Woche	5	4,58	5,1	4,0	0,54	11,8
2 Wochen	5	4,40	5,4	4,0	0,58	13,3
4 Wochen	5	4,14	4,9	3,6	0,48	11,5
20 Wochen	5	2,60	2,9	1,8	0,45	17,4

IV. Reparatur mit CONTACT-RESIN + ISOPAST

Dauer der Wasserlagerung	n	$\bar{m}$	m_{max}	m_{min}	s	VK (%)
1 Tag	5	3,66	4,4	3,2	0,74	20,2
1 Woche	5	3,60	5,1	4,0	0,42	11,6
2 Wochen	5	3,34	5,4	4,0	0,70	21,0
4 Wochen	5	2,68	4,9	3,6	0,36	13,3
20 Wochen	5	-	-	-	-	-

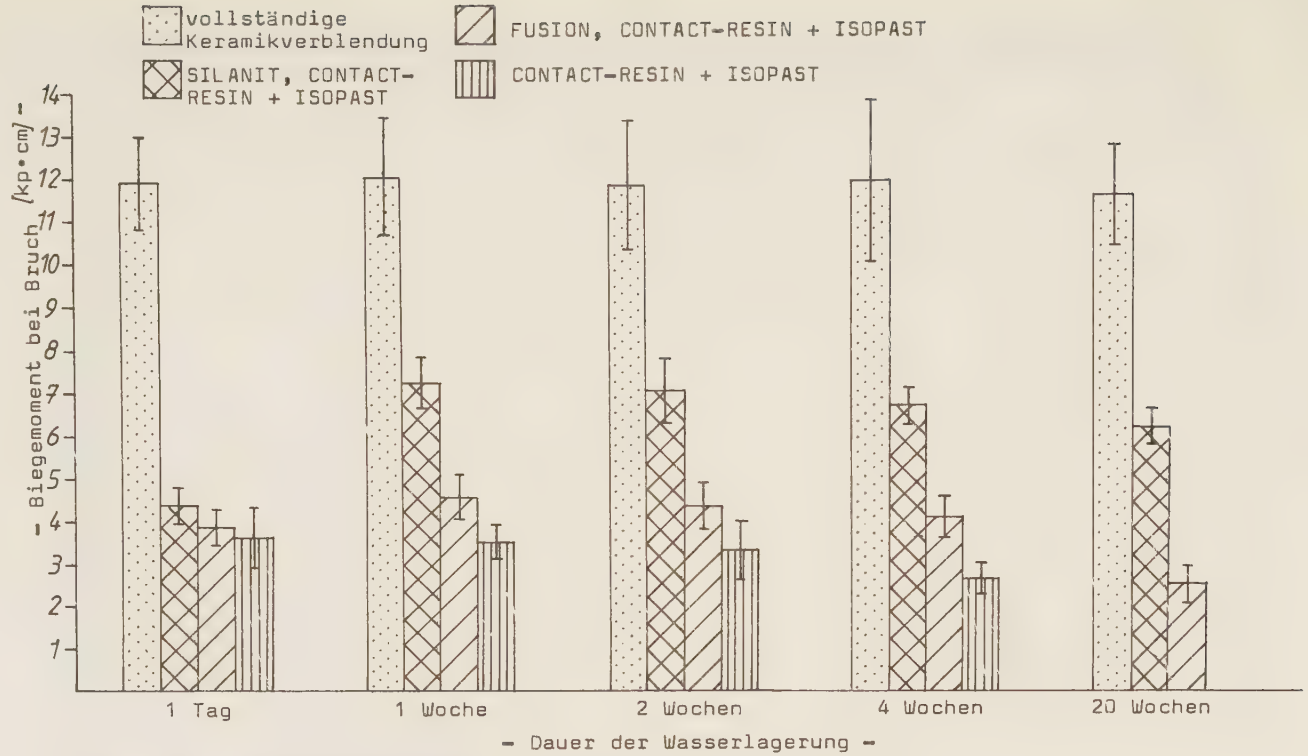


Diagramm 3: Biegemoment bei Bruch des Prüfkörpers B (S.23 ff).
Wie bei Prüfkörper A zeigt auch hier SILANIT die besten Ergebnisse, erreicht jedoch nicht die Verbundfestigkeit der vollständigen Kermikverblendung.

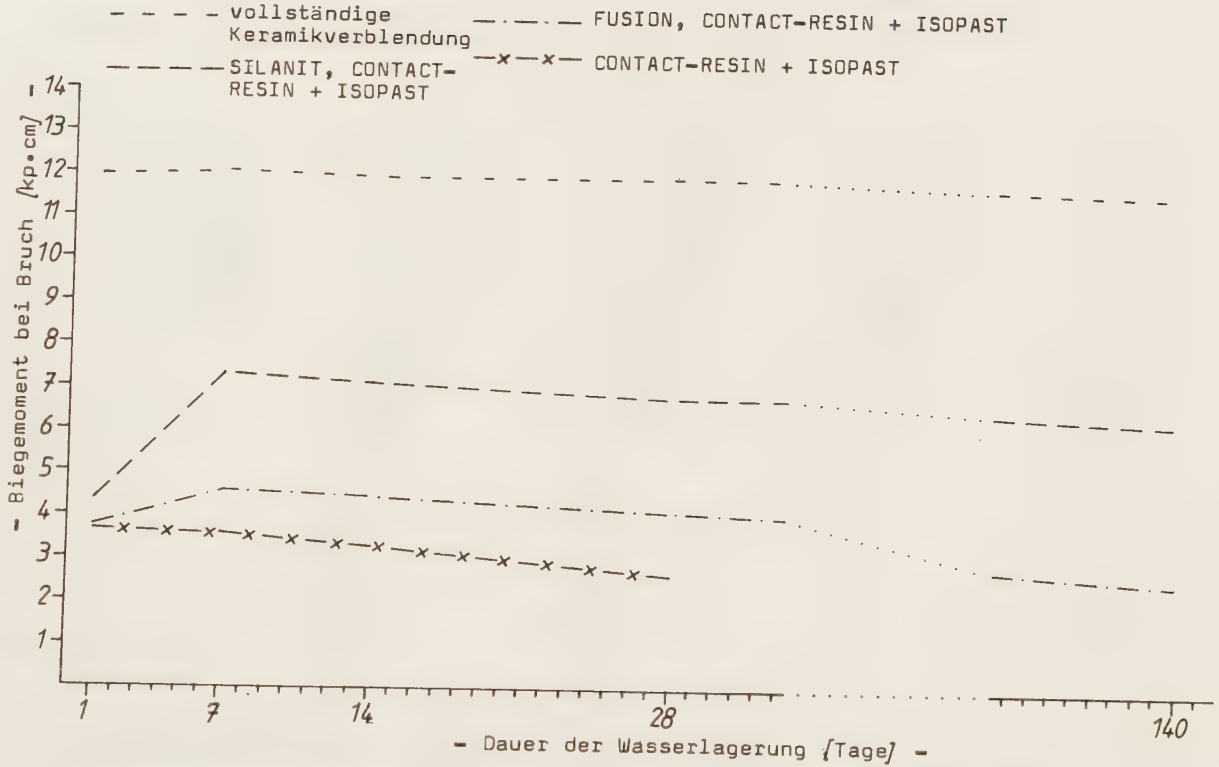


Diagramm 4: Verlaufskurve zu Diagramm 3; Biegemoment bei Bruch des Prüfkörpers B.

3.4. Auswertung und Diskussion der Versuchsergebnisse

a) Kompletter, nicht zerteilter Keramikprüfkörper A bzw. vollständige Keramikverblendung bei Prüfkörper B

Prüfkörper A: Mit einem nicht reparierten, nur aus Keramik bestehenden Prüfkörper gelang keine zufriedenstellende Messung. Es konnte selten ein glatter Bruch erzielt werden; vielmehr kamen Sprünge und Absplitterungen im Bereich des Biegeauflagers 2 vor, an dem offenbar Druckspitzen auftreten.
Trotz dieser Ungenauigkeiten sollen hier die Meßwerte einer Prüfreihe mit 5 Proben angeführt werden. Der kompakte Keramikkörper bricht deutlich bei höheren Biegemomenten als der reparierte. Es betrugen

der Mittelwert des Biegemoments bei vollständigem Bruch	$\bar{m}$ = 16,26 kp•cm
die Standardabweichung	s = 4,23 kp•cm
der Variationskoeffizient	VK = 26%

Prüfkörper B: Der Bruch erfolgte immer in der Mitte der Probe, also im Bereich des maximalen Biegemoments. Absprengungen der Keramik kamen nicht vor.
Durch die Wasserlagerung wird die Bruchfestigkeit des Metall- Keramik- Verbundes nicht verändert. Die Unterschiede in den einzelnen Meßergebnissen sind gering und auf eine normale Streuung der Meßwerte zurückzuführen.
Wie bei Prüfkörper A bricht die vollständige Keramikverblendung bei größeren Biegemomenten als die reparierte.

Die Metallkeramikreparatur erreicht also nicht die Festigkeit der vollständigen Keramikverblendung.

b) SUPER-BOND

Dieses Material konnte nur mit dem Prüfkörper A untersucht werden.
Ineinem Vorversuch mit 4 Proben ohne Wasserlagerung brachen diese bei einem mittleren Biegemoment von 8,07 kp•cm, also einem Wert, der auch mit SILANIT nicht erreicht wird. Dabei kamen z.T. Keramikabsprengungen vor, die man nach

der Wasserlagerung nicht mehr beobachten kann.

Die durch eine Ausbildung von Sauerstoffbrücken zu erklärende Bindung (siehe S.6) zur Keramikoberfläche ist bei der Lagerung im Wasserbad von 37°C wenig stabil. Der Abfall der Haftfestigkeit erfolgt rapide (s. Diagramm 1 und 2).

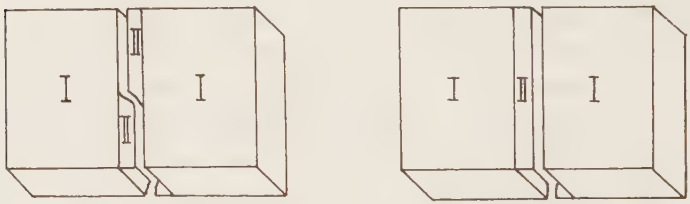
Auffällig ist die Veränderung des Kunststoffs selbst. Nach 7 Tagen Wasserlagerung wird die anfänglich harte Kunststoffschicht pergamentartig brüchig.

Für die Metallkeramikreparatur oder auch das Aufkleben von Keramikfacetten ist SUPER-BOND daher nicht brauchbar.

c) SILANIT, CONTACT-RESIN + ISOPAST

Prüfkörper A: Der Verlauf der Bruchlinien ist typisch und läßt die gesteigerte Haftung des Kunststoffs erkennen. In keinem Fall kam es zu einem glatten Bruch nur an einer Grenzfläche, immer blieben Kunststoffanteile an beiden Keramikkörpern haften. Es lassen sich zwei Hauptformen von Bruchflächen darstellen:

a) b)



I : Keramikkörper
II: Kunststoff

oben: Bruchbeginn

Abb. 9 Hauptformen des Bruchlinienverlaufs bei Verwendung von SILANIT

Bei insgesamt 5 Proben rissen Keramikstücke mit ab (zweimal nach 1 Tag und jeweils einmal nach 1 Woche, 2 Wochen und 4 Wochen Wasserlagerung).
Dafür können neben der guten Haftung des Kunststoffs an

der Keramik Unregelmäßigkeiten oder bereits vorher bestehende, makroskopisch nicht sichtbare Risse in der Keramik verantwortlich sein.

Prüfkörper B: Der Bruch erfolgte immer an der Kunststoff-Keramik- Grenzfläche; nur einmal kam ein geringer Abriß der Keramik vor (nach 1 Tag Wasserlagerung).
Risse im Keramikteil der Verblendung traten nicht auf; der Kunststoff wurde immer komplett von der Keramik abgelöst. Eine vollständige oder teilweise Absprengung des reparierten Verblendungsanteils vom Metallgerüst kam nicht vor.

Die beiden Kurven für SILANIT in den Diagrammen 2 und 4 haben im Prinzip denselben Verlauf. Obwohl nach Herstellerangabe die Haftung nach 24 Stunden maximal sein soll (24), steigert sie sich noch bis zum 7. Tag.
Die anfänglich verminderte Haftung sollte bei der Anwendung des Materials beachtet werden.
Die Abnahme der Haftfähigkeit in den folgenden Zeiträumen der Wasserlagerung ist gering; sie beträgt zwischen der 1. und 20. Woche ausgehend vom größten Wert im Durchschnitt 0,2% (Prüfkörper A) bzw. 0,7% (Prüfkörper B) pro Woche. Daher ist damit zu rechnen, daß die Haftung auch nach dem hier längsten Prüfzeitraum von 20 Wochen nur wenig abnimmt.

d) FUSION, CONTACT-RESIN + ISOPAST

Prüfkörper A: Der Bruchlinienverlauf ist bei 56% der Proben derselbe wie bei SILANIT, die übrigen Prüfkörper brachen jedoch glatt an einer Kunststoff- Keramik- Grenzfläche, d.h. der gesamte Kunststoffanteil blieb an einem Keramikkörper zurück.

Nach 20 Wochen Wasserlagerung löste sich an zwei Proben der Kunststoff komplett von beiden Keramikflächen ab.

In drei Fällen kam es zu Absprengungen von Keramikteilen (zweimal nach 1 Tag, einmal nach 4 Wochen Wasserlagerung).

Prüfkörper B: Der Bruch erfolgte immer an der Grenze zum Reparaturkunststoff.
Es kamen keinerlei Ablösungen des Kunststoffs oder der Keramik vom Metallgerüst vor.

Der Kurvenverlauf entspricht bis auf den in Diagramm 2 stärkeren Abfall der Haftung zwischen der 1. und 2. Woche dem für den Prüfkörper A. Wie bei SILANIT wird hier der größte Haftfestigkeitswert erst nach 7 Tagen erreicht. Danach nimmt die Haftung um durchschnittlich 1,3% (Prüfkörper A) bzw. 2,2% (Prüfkörper B) pro Woche ab, was deutlich höher ist als bei SILANIT.

e) CONTACT-RESIN + ISOPAST (ohne Haftvermittler)

Prüfkörper A: Die Proben brachen immer glatt an einer Grenzfläche.
Nach 4 Wochen Wässerung löste sich an zwei Prüfkörpern beim Bruch der Kunststoff komplett ab, nach 20 Wochen Wasserlagerung zerbrachen die Prüfkörper schon beim Einsetzen in das Dynstat- Gerät. Daher kann für diesen Prüfzeitpunkt kein Meßwert angegeben werden.

Prüfkörper B: Ohne Haftvermittler zeigt sich auch bei diesem Prüfkörper eine geringe Haftung des Reparaturkunststoffs.

f) LABO-AKRYLAT

Mit diesem Material wurde keine vollständige Testreihe durchgeführt, da es erst später zur Verfügung stand und die Ergebnisse des Vorversuchs mit dem Prüfkörper A deutlich sind:

2 Proben ohne Wasserlagerung brachen bei 1,7 bzw. 2,0 kp•cm,
2 Proben nach 5 Wochen Wasserlagerung bei 0,8 bzw. 0,9 kp•cm.

Dieses Ergebnis, insbesondere die Veränderung im feuchten Milieu, war nach den bisherigen Untersuchungen über Cyano-Acrylate zu erwarten (14,15,44).

Im Prinzip gleichen sich die Versuchsergebnisse mit den beiden verschiedenen Prüfkörperarten A und B.
Zusammenfassend können folgende Aussagen abgeleitet werden:

- Ein spezieller Haftvermittler erhöht die Haftung von hochglanzpolierbaren Füllungsmaterialien an dentalkeramischen Massen.
- Materialien auf Acrylat- Basis verlieren ihre Haftfähigkeit durch die Einwirkung von Wasser.
- Haftvermittler auf Silan- Basis erzielen die beste Haftfestigkeit; bei SILANIT verringert sich diese auch nach langer Wasserlagerung kaum.
- bei SILANIT und FUSION ist das Maximum der Haftung nach 24 Stunden noch nicht erreicht.
- SILANIT bewirkt die dauerhafteste Reparatur mit der größten Haftung.
- Die anfänglich feste Bindung von 4-MET (SUPER-BOND) zur Keramik nimmt bei Wasserlagerung rasch ab. Das Material eignet sich nicht zur Keramikreparatur oder zum Ankleben von Keramik im Munde.
- Die Reparatur ist immer schwächer als die intakte Keramikschicht. Geht man davon aus, daß der die Reparatur notwendig machende Bruch durch eine Biegebelastung erfolgte und somit die Bruchstelle am Ort der größten Belastung liegt, so ist ein erneuter Bruch -und damit Mißerfolg- an derselben Stelle zu erwarten.

3.5. Untersuchung der Randdichtigkeit der Keramikreparatur

Die Ausbildung eines Randspaltes bzw. das Eindringen von Lösungen an der Grenzfläche zwischen zwei aneinanderhaftenden Materialien hat für die hier untersuchte Keramikreparatur folgende Auswirkungen:

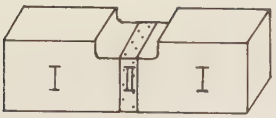
- Eine Verringerung der Haftung durch die Abnahme der haftenden Fläche.
- Ein vermindertes ästhetisches Ergebnis durch das Eindringen von Farbstoffen aus der Nahrung und dem Speichel, wodurch die Grenze zur Reparatur sichtbar wird.

Gerade dieses Eindringen eines Farbstoffes kann zur Bestimmung der Randdichtigkeit herangezogen werden, wie z.B. von STRUB und RABUS (45) bei der Prüfung des Abdichtungsvermögens von Befestigungszementen.
Dabei legten sie den Verbund Zahn- Zement- Metall für 8 Stunden in eine Fuchsin- bzw. Gentianaviolettlösung, fertigten dann einen Dünnschnitt an und maßen die Eindringtiefe unter dem Mikroskop aus.

3.5.1. Methode

An Keramik- Kunststoff- Prüfkörpern (wie Prüfkörper A, siehe S.20 ff) wird das Eindringen eines Farbstoffs zwischen Keramik und Kunststoff nach unterschiedlich langer Lagerung in der Farbstofflösung bei 37°C bestimmt.
Nach Beendigung dieser Lagerung wird der Prüfkörper mit Wasser abgespült, luftgetrocknet, längs in der Mitte durchgesägt und unter dem Auflichtmikroskop beurteilt.
Um das aufwendige Durchsägen zu vereinfachen, kann man den Prüfkörper im Verbundbereich mit einem Diamantschleifer und der Turbine kastenförmig ausschleifen (Abb. 10).

Es ist wichtig, die Fläche plan und in einer Ebene zu schleifen, um im Mikroskop ein gleichmäßig scharfes Bild zu erhalten.



I :Keramikkörper
II:Reparaturkunststoff

Abb. 10 Kastenförmig ausgeschliffener Keramik- Kunststoff-Prüfkörper zur Messung der Eindringtiefe des Farbstoffes

Bei Materialien mit geringer Haftung läßt sich der Kunststoff leicht komplett entfernen, so daß man die Farbstoffverteilung auf den beiden angrenzenden Keramikflächen beurteilen kann.

3.5.1.1. Wahl des Farbstoffs

Der Farbstoff muß die Materialien intensiv anfärben und sich im Mikroskop deutlich von ihnen abheben.

Eine vergleichende Untersuchung mit Carbolfuchsin-, Eosin-, Fluorescin-, Methylrot- und Methylenblaulösung zeigte, daß sich Methylenblau am besten eignet.

Um dem Mundmilieu ähnliche Verhältnisse zu schaffen, wird das Methylenblau in aqua dest. gelöst und die Lösung im Wasserbad auf 37°C erwärmt.

3.5.1.2. Prüfkörperarten und Meßzeitpunkte

Es wurden folgende Materialien verwendet:

I. SUPER-BOND

II. SILANIT, CONTACT-RESIN + ISOPAST

III. FUSION, CONTACT-RESIN + ISOPAST

IV. ohne Haftvermittler, mit CONTACT-RESIN + ISOPAST

Eine Probe ist ein halber, in der Mitte längs durchtrennter Prüfkörper A.

Da die zahlreichen Vorversuche -auch mit den verschiedenen Farbstoffen- eindeutige Ergebnisse erbrachten, wobei sich herausstellte, daß eine Messung der Eindringtiefe und damit eine größere Meßreihe nicht sinnvoll ist, wurden abschließend von jeder Prüfkörperart zwei Stück hergestellt und in die Methylenblaulösung gelegt.
Der erste kam nach 2 Wochen, der zweite nach 4 Wochen zur Auswertung.

3.5.2. Versuchsergebnisse

- Bei Verwendung eines Haftvermittlers (SILANIT, FUSION) tritt auch nach 4 Wochen Wasserlagerung kein Randspalt auf, d.h. es dringt kein Farbstoff zwischen Keramik und Kunststoff ein.
- Ohne Haftvermittler und bei SUPER-BOND dringt die Methylenblaulösung von allen Seiten her ein. In der Mitte der jeweiligen Keramikgrenzfläche bleibt noch ein unregelmäßig und bezüglich der Mittellinie unsymmetrischer Bezirk von Farbstoff frei. Eine Messung der Eindringtiefe ist daher nicht sinnvoll.
- Mit zunehmender Dauer der Lagerung in der Farbstofflösung ist bei diesen Prüfkörpern die Eindringtiefe größer.
- Bei schlechter Politur der Oberfläche nimmt der Kunststoff die Lösung auf, verfärbt sich also selbst.
  Mit SILANIT und FUSION breitet sich jedoch der Farbstoff an der Grenzfläche nicht weiter aus.

Die wichtigste Aussage ist, daß der Haftvermittler auch die Grenze zwischen Reparaturkunststoff und Keramik abdichtet. Obwohl die Untersuchung nur qualitative Aussagen zuläßt, ist der Zusammenhang mit den Ergebnissen der Verbundfestigkeitsprüfung deutlich.

4. SCHLUSSBETRACHTUNG ZU DEN UNTERSUCHUNGEN ÜBER REPARATURMATERIALIEN FÜR DIE METALLKERAMIK

Sowohl mit Abscher- als auch mit Abriß- und, wie hier durchgeführt, mit Biegeversuchen erhält man für die Haftung der Reparaturmaterialien in den Meßwerten ähnliche und von der Aussage her praktisch dieselben Ergebnisse.
Wie sich in dieser Arbeit zeigte, ändern daran auch verschiedene Prüfkörperarten innerhalb derselben Methode prinzipiell nichts.

Die bisherigen Ergebnisse können als Richtwerte für die Beurteilung eines neuen Reparaturmaterials herangezogen werden, wie es hier bei LABO-AKRYLAT geschah.

SILANIT ist das Material, das die beste Haftung von Kunststoff an Keramik ermöglicht. Das Prinzip einer chemischen Bindung durch einen Haftvermittler auf Silan- Basis ist also derzeit am erfolgreichsten.

Überraschend ist das Ergebnis mit SUPER-BOND. die rapide abnehmende Haftung an der Keramik nach der Lagerung im Wasserbad, besonders aber die Veränderung des Kunststoffs selbst war nicht zu erwarten.
Würde er im Munde ebenso brüchig, so wäre ein dauerhaftes Aufkleben von Brackets nicht möglich. Bei Maryland- Brücken ist die Umspülung mit Speichel nicht so intensiv.

Die wichtigste und am häufigsten durchgeführte Untersuchung über Reparaturmaterialien für die Metallkeramik ist die der Haftung. Weitere Untersuchungen sind jedoch möglich, wie hier die Überprüfung der Randdichtigkeit, die zwar keine meßbaren Ergebnisse, aber doch qualitative Aussagen zuläßt.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Als Reparaturmaterialien für die Metallkeramik wurden die beiden Haftvermittler FUSION und SILANIT zusammen mit dem hochglanzpolierbaren Füllungskunststoff ISOPAST und dem dazugehörigen Liner CONTACT-RESIN, außerdem der haftfähige Kunststoff SUPER-BOND und in einer kleineren Prüfreihe das Material LABO-AKRYLAT untersucht.
Die Haftung der Reparaturschicht wurde mit zwei verschiedenen Prüfkörperarten durch Messung der Verbundfestigkeit bei der Bruchbiegung ermittelt. Der erste Prüfkörper (A) bestand aus zwei durch das Reparaturmaterial verbundenen Keramikkörpern, der zweite (B) aus einem Metallplättchen (DEGUDENT U), das zur Hälfte mit Aufbrennkeramik verblendet war; die andere Hälfte wurde im Sinne einer Metallkeramikreparatur ersetzt.

Als Prüfgerät diente das Dynstat- Gerät.
Die Prüfkörper lagerten für 1 Tag, 1, 2, 4, 20 Wochen in aqua dest. bei 37°C.
Mit SILANIT und FUSION wurden die größten Haftfestigkeitswerte erst beim zweiten Prüftermin nach 1 Woche erreicht.
Die Haftung bei SILANIT war die größte (maximal 6,98 kp•cm (A) bzw. 7,30 kp•cm bei B), änderte sich bis zur 20. Woche nur wenig und betrug dann mit Prüfkörper B, bei dem ein Vergleich mit einer vollständigen Keramikschicht möglich war, ca. 52% von diesem Maximalwert (12 kp•cm).
Mit FUSION wurden immer die zweitbesten Ergebnisse erzielt (maximal 5,40 kp•cm bei A, 4,58 kp•cm bei B). Die Haftung nahm bis zur 20 Woche stärker ab und betrug bei Prüfkörper B dann noch 22% vom Wert der vollverblendeten Probe.
Ohne Haftvermittler war die Haftfestigkeit deutlich schlechter. Nach 20 Wochen Wasserlagerung war keine Messung mehr möglich.
SUPER-BOND zeigte nach 1 Tag noch den größten Wert der Haftfestigkeit (5,98 kp•cm), die dann aber rapide abnahm (nach 1 Woche 0,54 kp•cm)
Mit LABO-AKRYLAT wurde ohne Wasserlagerung ein Wert von etwa 1,8 kp•cm, nach 5 Wochen Wasserlagerung ca. 0,9 kp•cm erreicht.

Die Untersuchung der Randdichtigkeit an der Grenze Keramik-Kunststoff erbrachte keine meßbaren Ergebnisse. Es wurde das Eindringen einer wässrigen Methylenblaulösung bei 37°C bei einer längsten Lagerung von 4 Wochen beurteilt. Dabei zeigte sich, daß die verwendeten Haftvermittler diese Grenzfläche vollständig abdichten, dagegen ohne Haftvermittler und mit SUPER-BOND der Farbstoff deutlich zwischen die beiden Materialien eindringt.

6. LITERATURVERZEICHNIS

1. ANSENHOFER, A. — Aufbrennkeramik Vorgestern-Gestern Heute
dental-labor 26, 70 (1978)

2. EICHNER, K. — Metallkeramik
C. Hanser Verlag, München Wien 1979

3. HENNING, G. — Edel- oder Unedelmetallegierungen - ist das eine Frage?
dental-labor 26, 715 (1978)

4. SCHWICKERATH, H. — Materialien für die Aufbrennkeramik, ihre Eigenschaften und ihr Verhalten
Dtsch Zahnärztl Z 33, 837-845 (1978)

5. KERSCHBAUM, TH. — Metallkeramische Verblendkronen nach mehrjähriger klinischer Bewährung
Zahnärztl Mitt 20, 1195-1199 (1977)

6. MARXKORS, R., MEINERS, H., VERHEGEN, W. — Vorschläge zur Verbesserung von verblendeten Kronen und Brücken durch die mechanisch-geometrische Form
Dtsch Zahnärztl Z 35, 842-848 (1980)

7. SCHWICKERATH, H. — Zur Konstruktion von Brückenzwischengliedern
Dtsch Zahnärztl Z 36, 797-804 (1981)

8. FREESMEYER, W.B., HAMBROK, H.J., KÖRBER, E. — Dimensionsänderungen an verblendeten kronen
Dtsch Zahnärztl Z 34, 190-192 (1979)

9. FREESMEYER, W.B. — Dimensionsänderungen bei Metallkeramikbrücken durch den Aufbrennprozeß
Dtsch Zahnärztl Z 35, 532-536 (1980)

10. MILLER, L.L. — Metallgerüste für metallkeramische Arbeiten
Quintess Zahnörztl Lit 34, 2371-2381 (1983)

11. BOITEL, R.H.
Reparatur gebrochener VMK- Brückenpontics in der Front
Schweiz Mschr Zahnheilk 89 Nr.11/79, 1191-1192

12. MAREN, E.
Metallkeramik
Quintess Zahnärztl Lit 20, 65-72, Ref.-Nr. 3768 (1969)

13. BAKLAND, L.K.
Eine Möglichkeit, Porzellan- Verblendungen im Munde zu erneuern
Quintess Zahnärztl Lit 23, 47-51, Ref.-Nr. 4588 (1972)

14. HOFFMANN, K.
Die Verwendung von Cyanoacrylat-Schnellklebern in der Zahntechnik
Quintess Zahnärztl Lit 22, 96, Ref.-Nr. 4344 (1971)

15. MARX, H., HOUCKEN, P.
Experimentelle Untersuchungen der Härte und Haftfähigkeit von Reparaturmaterialien für die Metallkeramik
Dtsch Zahnärztl Z 33, 465-468 (1978)

16. SOLTESZ, U., KLAIBER, B., SCHLUDE, V.
Bürstenabrasion mit 27 handelsüblichen Composits und ihre Oberflächenveränderung im Rasterelektronenmikroskop
Dtsch Zahnärztl Z 35, 502-505 (1980)

17. REINHARDT, K.-J., VAHL, J.
Untersuchungen physikalischer Eigenschaften hochglanzpolierbarer Füllungsmaterialien im Vergleich zu [illegible] Composits
Dtsch Zahnärztl Z 33, (1978)

18. NOLDEN, R.
Vergleichende Untersuchungen mechanischer Eigenschaften der derzeitigen selbsthärtenden und lichthärtenden Füllungskunststoffe
Dtsch Zahnärztl Z 35, (1980)

19. KOLLMANNSPERGER, P., VENZ, S.
Vergleich der physikalischen Eigenschaften von Kompositen und polierbaren Füllungskunststoffen
Dtsch Zahnärztl Z 35, 934-938 (1980)

20. EICHNER, K.
Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung; Band 1: Grundlagen und Verarbeitung
Dr. Alfred Hüthig Verlag, Heidelberg 4. Auflage 1981

21. HUBER, H.P.
Untersuchungen von Haftvermittlern zur Reparatur von Metallkeramik
Dtsch Zahnärztl Z 38, 26-27 (1983)

22. BREUSTEDT, A., FEULGENTREFF, K.
Silane als Haftvermittler zwischen dentalkeramischen Massen und Dentalkunststoffen und Möglichkeiten für ihre Anwendung in der prothetische Stomatologie
Dtsch Stomat 22; 676-682, 825-833 (1972)

23. BREUSTEDT, A. LENZ, E.
Stomatologische Werkstoffkunde
J. A. Barth, Leipzig 1978

24. VIVADENT, Schaan/Lichtenstein
Gebrauchsanleitung für SILANIT

25. E.&H. RENFERT, Postfach 724, D-7700 Singen
Verarbeitungsanleitung Nr. 1927/0000 FUSION

26. MASUHARA, E.
Die neuentwickelten haftfähigen Kunststoffe und ihre klinische Anwendung
Dtsch Zahnärztl Z 37, 155-159 (1982)

27. SCHRÖDER, D.
Reparaturen an metallkeramisch verblendetem Zahnersatz
Dtsch Zahnärztl Z 33, 461-464 (1978)

28. NOTTER, O.R., BELSER, U.C.
Porzellanreparaturmaterialien- experimentelle Untersuchungen der Haftfestigkeit verschiedener Produkte
Schweiz Mschr Zahnheilk 92, Nr. 1/82, 33-37

29. NALLY, J.-N., BERTA, J.-J.
Recherches expérimentales sur les propriétés mécaniques des céramiques cuites sur alliage
Schweiz Mschr Zahnheilk 75, Nr. 1/65, 93-104

30. SHELL, J.S., NIELSEN, J.P.
Study of the Bond between Gold Alloys and Porcelain
J Dent Res Vol 41, Nov.-Dec. 1962, 1424-1437

31. SCHMITZ, KH., SCHULMEYER, H.
Bestimmung der Haftfestigkeit dentaler metallkeramischer Verbundsysteme
dental-labor 23, 12/1975, 1416-1420

32. WAGNER, E.
Die theoretischen Grundlagen der Vita- VMK/Degudent- Technik
Zahnärztl Welt 10/1965, 349-351

33. SILVER, M., KLEIN, G., HOWARD, M.C.
An Evaluation and Comparison of Porcelains fused to cast Metals
j Prosth Dent Nov.-Dec. 1960, 1055-1064

34. VOSS, R., EICHNER, K.
Orientierende Untersuchungen über die Festigkeit metallkeramischer Kronen aus neuen Werkstoffen
Dtsch Zahnärztl Z 33, 456-460 (1978)

35. LENZ, P., GILDE, H., SÜSSMANN, K.
VMK- Konuskronen im Dauerverschleiß-versuch
Dtsch Zahnärztl Z 33, 453-455 (1978)

36. DEGUSSA GB Dental u. Goldhalbzeug D-6000 Frankfurt 1 — Degussa- Brief 45, Dez. 1979

37. DEGUSSA GB Dental u. Goldhalbzeug D-6000 Frankfurt 1 — Informationsblatt "Degussa Aufbrennlegierungen"

38. VIVADENT Schaan/Lichtenstein — Informationsblatt "SILANIT"

39. VIVADENT Schaan/Lichtenstein — Informationsblatt "CONTACT-RESIN"

40. VIVADENT Schaan/Lichtenstein — Gebrauchsanleitung für CONTACT-RESIN

41. VIVADENT Schaan/Lichtenstein — Informationsblatt "Füllungs-stoffe aus ISOSIT"

42. ELLMANN PRODUKTE D-6000 Frankfurt 90 — Gebrauchsanweisung für LABO-AKRYLAT

43. DIN Taschenbuch 19 — Materialprüfnormen für metallische Werkstoffe 1
Beuth Verlag GmbH, Berlin Köln 8. Auflage 1978

44. SCHMEISSNER, H. — Chemische und physikalische Eigenschaften der Cyano- Acrylate
Quintess Zahnärztl Lit 22, 97-98, Ref.-Nr. 4467 (1971)

45. STRUB, J.R., RABUS, H.M. — Prüfung des Abdichtungsvermögens von drei Befestigungszementen
Schweiz Mschr Zahnheilk 90, Nr. 6/80, 529-539

DANKSAGUNG

Herrn Professor Dr. E.Körber gilt mein Dank für die Überlassung des Themas

Herrn Dr. W.Lindemann danke ich besonders für die freundliche Betreuung während der gesamten Arbeit.

Bedanken möchte ich mich bei der Vita Zahnfabrik, der Firma Degussa und der Keramoplast GmbH für die Bereitstellung von Materialien.

LEBENSLAUF

Am 29.8.1959 wurde ich, Thomas Kiefer, als Sohn des Steueramtmanns Hans-Günter Kiefer und dessen Ehefrau Magda Kiefer, geb. Schnell, in Schwäbisch Hall geboren.

Im April 1966 trat ich in die Johanniterschule in Rottweil ein und wechselte nach zwei Grundschuljahren in die Konrad-Witz- Schule.
Vom August 1969 an besuchte ich das Droste- Hülshoff-Gymnasium in Rottweil und legte dort am 20.5.1978 meine Reifeprüfung ab.

Zum Wintersemester 1978 nahm ich in Tübingen das Studium der Zahnheilkunde auf. Nach dem 2. vorklinischen Semester bestand ich die naturwissenschaftliche Vorprüfung, nach dem 5. vorklinischen Semester die zahnärztliche Vorprüfung. Am 7.12.1983 beendete ich mein Studium mit dem Staatsexamen.

Nach zweimonatiger Tätigkeit in einer freien zahnärztlichen Praxis in Fritzlar leiste ich seit dem April 1984 meinen Grundwehrdienst bei der Bundeswehr als Stabsarzt in Fuldatal ab.